



reemplazo de las actuales que se encuentran muy deterioradas y al término de su vida útil.

Estando el tratamiento de los gases primarios en plantas de ácido acotado en flujo y concentración, sólo los gases provenientes de mejoras de eficiencia de campanas primarias podrán ser tratados hasta ácido sulfúrico, en tanto que los captados por las nuevas campanas secundarias, deberán ser lavados junto a los gases de la sangría del flash.

8.5.1 Proyectos y Medidas de Control de Emisiones

Los proyectos a implementar para incrementar el nivel de fijación de Azufre y Arsénico por la Fundición Chuquicamata y los previstos por el Consultor, se indican a continuación:

- Reemplazo de Campanas Primarias en CPS

En atención a que las campanas primarias de gases de los CPS se encuentran en regular estado para enfrentar las nuevas exigencias y cercanos al término de su vida útil, se hace necesario efectuar el reemplazo de ellas. Para la realización de este proyecto se está en antecedentes que la Fundición Chuquicamata está estudiando un par de diseños de campanas de alta eficiencia, lo que permitiría un mejoramiento en la captación de SO_2 , disminuyendo las emisiones en 0,7%, del azufre ingresado a fundición, con lo cual la fijación aumentaría a 93,9%.

Con estos equipos funcionado, se espera lograr además del mejoramiento del ambiente de trabajo una mejor captura de los gases metalúrgico de los CPS



La inversión estimada de este proyecto es de 43 MUS\$, para los cuatro CPS con un plazo de ejecución estimado de un año, durante la reparación general de cada CPS. Su operación se espera para comienzos de 2014.

- Modificación Plantas de Ácido Sulfúrico a Doble Contacto/Doble Absorción

En la actualidad las PAS, son de simple contacto y emiten del orden de 2,1 % del azufre ingresado a fundición, situación que puede mejorarse sustancialmente al efectuar una transformación mayor de las plantas, transformándolas en plantas de doble contacto/doble absorción, situación ampliamente probada en la industria. Se estima que en su conjunto, se obtendría una disminución en la emisión de azufre del orden de 1,4% del azufre ingresado a fundición, lo que permitiría mejorar la captura y abatimiento de azufre, desde 93,9% a 95,3%.

La inversión estimada de este proyecto, para la adecuación de dos plantas, es de 30 MUS\$, su operación se espera para comienzos de 2015.

- Captación y Lavado Gases Fugitivos CPS y sangrías FSF

Para la captación de los gases fugitivos de la boca se requiere instalar nuevas campanas secundarias en cada uno de los CPS, como las descritas en el Capítulo 5 Soluciones Tecnológicas Generales para la Captura y Tratamiento de Gases Fugitivos y Secundarios.

La implementación de esta solución tecnológica no tiene mayores impedimentos de infraestructura, ya que hace algunos años estos equipos existían en fundición, que hasta hoy funcionan en estado deficiente. Es por esta razón que se prevé su reemplazo, probablemente con la selección de campanas integradas.



Los gases fugitivos de CPS y de sangrías FSF serán tratados en una planta de lavado alcalino (venturi/scrubber) de gases diluidos.

Con la implementación de este proyecto, se estima que se obtendrá un mejoramiento en la captación y abatimiento de azufre desde 95,3% a 96,7%. La inversión estimada de este proyecto es de 91 MUS\$, con un plazo de ejecución de 2 años, por lo que su operación se esperaría para comienzos del año 2016.

- Planta de Tratamiento de Gases de Cola

Actualmente por la chimenea en las plantas de ácido se emiten del orden de 1.700 y 2.200 ppm de SO₂ por disponer solamente de simple absorción. Para cumplir límites de emisión por chimeneas, además del cambio a doble absorción con una reducción de 1,4% de emisiones de SO₂, se hace necesario un tratamiento adicional de estos gases residuales de las plantas de ácido, con los que se persigue alcanzar una concentración de SO₂ en los gases evacuados (275.400 Nm³/hr) inferior a 400 ppm, permitiendo además alcanzar una reducción de emisiones de SO₂ de 0,6% respecto de la alimentación.

Existen varias tecnologías para el tratamiento de gases de cola, entre las que se cuentan, el proceso Cansolv, el método Peracidox o Superox que básicamente consiste en agregar un venturi scrubber que trata los gases con agua oxigenada (H₂O₂) para producir ácido sulfúrico. No disponiendo a la fecha el Consultor datos fehacientes de proveedores, para efectos de esta evaluación de costos, se ha considerado frente a este último proceso recuperador de ácido sulfúrico, el **proceso de lavado alcalino**, por presentar un menor VAC según pre-evaluación comparativa según antecedentes



bibliográficos²⁴, generados por mayores costos de operación del Superox, no compensados por la mayor venta de ácido, aún a un precio de venta local de 60 US\$/t.

Los costos de inversión para una planta alcalina de tratamiento de gases residuales de las 2 PLG se estiman en 32,2 MUS\$ y los plazos requeridos para los estudios de ingeniería, adquisiciones, construcción, instalación y puesta en marcha son de aproximadamente 24 meses, estimándose en operación el 2015.

Con esta reducción de emisiones se proyecta mejorar la captación y abatimiento de azufre desde 96,7% a 97,3%.

Para el cumplimiento de límites en chimenea además del tratamiento de gases de cola de PAS, se han incorporado inversiones de 5,7 MUS\$ para sistema poscombustión en los 6 hornos de ánodos así como opacímetros de control de humos negros y recursos equivalentes a 1,29 MUS\$ para infraestructura de monitoreo y control de límites, con un gasto de operacional de 0,56 MUS\$/año.

El efecto por proyecto de reducción de emisiones, calculado en bases a las fuentes detectadas y las eficiencias asignadas indicadas en el capítulo 5 (Ej.: 85% abatimiento de S y As en planta de lavado alcalino), se indica en la siguiente tabla:

²⁴ Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Sulphuric Acid and Fertilizer Industries, Vol N°3 Production of Sulphuric Acid, p. 40, 2000.



Tabla 8.5.1 Proyectos de Reducción de Emisiones Fundición Chuquicamata

Medidas de mejoramiento ambiental	Reducción emisión S %	Reducción emisión As %	Ton abatida SO2 t/a	Ton abatida As t/a
Fundición Chuquicamata				
Escenario 95% S				
Reemplazo campanas CPS	0,7	0,03	5.556	2
Plantas de ácido doble absorción	1,4	-	10.791	-
Límites de chimenea				
Eliminación humos negros y opacímetro HA (Seis)	-	-	-	-
Infraestructura monitoreo control	-	-	-	-
Escenario 96%-97% S				
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	1,2	0,01	9.576	1,1
Captura y Tratamiento gases sangrías FSF	0,2	0,13	1.500	11,7
Límites de chimenea				
Tratamiento gases de cola PAS 274.000 Nm3/h	0,6	-	4.948	-

Fuente: Elaboración propia.

8.6 Niveles de Mejoramiento Ambiental y Cumplimiento de Normativas

Con los proyectos antes mencionados implementados, la distribución de emisiones en la fundición queda como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 8.6.a Emisiones según Captura-Fijación de Azufre y Arsénico por escenario Fundición Chuquicamata



Chuquicamata	Med. Plazo	
Alimentación conc. + calcina t/año	Nominal	1.350.000
Ley Media S en la mezcla conc + calcina (%)		28,8
Ley Media As en la mezcla conc. + calcina (%)		0,64

Emisión por Fuentes t/a Fundición Chuquicamata	Base 2013 Med. Plazo		Escenario de 95% S		Escenario de 96%-97% S	
	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico	Azufre	Arsénico
Fugitivo primario FSF	0	0	0	0	0	0
Fugitivo Sangría FSF MB/Escoria	1.334	36	1.334	36	584	24
Fugitivo primario CPS (giro+ campanas)	14.082	13	11.304	10		
Residual tratamiento fugitivo primario CPS	n/d	n/d	n/d	n/d	6.517	9
Planta de Flotación Escorias	26	2	26	2	26	2
Gases de cola PAS	8.306	0	2.911	0		
Residual tratamiento gases de cola	n/d	n/d	n/d	n/d	437	0
Refino HA	450	105	450	105	450	105
Otras fuentes	2.377	4	2.377	4	2.377	4
Ajustes	-13	0	-13	0	-13	0
Total emisión t/a	26.563	158	18.389	156	10.377	143
Captura y Fijación ajustada con desviación $\pm 0,3\%$ S	93,2	98,2	95,3	98,2	97,3	98,3
Toneladas abatidas (t/a)	-	-	8.174	2	8.012	13
Toneladas de ácido incremental (t/a)			25.542		0	

Nota (n/d): No dispone.

Fuente: Elaboración propia.

Por encontrarse la Fundición Chuquicamata, cercana a la ciudad de Calama, la autoridad ha proyectado también la exigencia de cumplimiento de límites en chimenea, que en base a las eficiencias de equipos proyectadas se precia en la siguiente tabla.

Tabla 8.6.b Tabla cumplimiento límites por chimenea Fundición Chuquicamata

Cumplimiento Límites en Chimenea Fundición Chuquicamata										
Fuente Generadora y Sistema de Tratamiento	Tecnología a Implementar	Volumen Nm ³ /hr	Conc. SO ₂ mgr/Nm ³	Conc As mgr/Nm ³	EFI trat %	Concentración proyectada mg/Nm ³				Observaciones
						400 SO ₂	0,5 As	0,07-0,1 Hg	50 MP	
Tratamiento gases de Cola PAS doble absorción	Lavado scrubber solución alcalina	275.400	2.447	-	85	367	-	-	-	Requiere disponer 13.400 t/a yeso
Captura y Tratamiento gases Fugitivos CPS y sangrías FSF	Campanas, VTI, Lavado alcalino 80%-70% captura respectivamente	465.000	3.843	12,8	85	576	1,9	-	1,9	Requiere disponer 29.950 t/a yeso impuro

Fuente: Elaboración propia.



8.6.1 Cronograma de cumplimiento de los escenarios establecidos

Para poder dar cumplimiento a los escenarios definidos y desarrollar las soluciones tecnológicas establecidas para disminuir las emisiones de SO₂, As se considera el siguiente cronograma:

Tabla 8.6.1 Cronograma de cumplimiento de Escenarios

CRONOGRAMA DE CUMPLIMIENTO ESCENARIOS DE CAPTURA DE AZUFRE Y ARSENICO, FUNDICION CHUQUICAMATA					
MEDIDA DE DESCONTAMINACION	AÑO				
	2013	2014	2015	2016	2017
Nivel de fijación de SO ₂	93,2%	95,3%	97,3%		
Reemplazo campanas CPS	xxxxxxxxxxxx				
Planta de ácido doble absorción	xxxxxxx	xxxxxxxxxxxx			
Captación y Neutralización Gases Secundarios CPS y sangrías FSF		xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx		
Tratamiento de gases de cola PAS			xxxxxxxxxxxx		

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el diagrama el escenario de 95% se cumpliría a partir del año 2015, y el escenario de 96%-97% se cumpliría a partir del año 2016.

Aun cuando el nivel de captura alcanzado en la fundición es de 97,3%, a fines del año 2015, por el rango de dispersión de los cálculos se sostiene un cumplimiento de solo 96% por las razones que se explican más adelante en el punto siguiente.

8.6.2 Consideraciones para la sustentabilidad de resultados en el Mediano y Largo Plazo

Es importante transparentar la realidad de una fundición en términos de que el conjunto de operaciones unitarias debe operar a su máxima eficiencia en cada una de sus variables: parámetros operacionales de calidad de la carga, capacidad de procesamiento de ella, equipos de captura y manejo de gases metalúrgicos, planta



de limpieza de gases y captura/limpieza de gases fugitivos para que como conjunto, la fundición cumpla un determinado nivel de captura y emisión de contaminante.

En la práctica, lo normal es que de tiempo en tiempo, cualquier equipo del conjunto descrito anteriormente baje su eficiencia o falle y consecuentemente, como conjunto no se cumpla el nivel de captura y emisión de contaminante.

Tal como esta planteado el cumplimiento de la norma en nivel de captura y en cuotas de emisión, no es una solución bajar el nivel de fusión como ocurre actualmente y por lo tanto el único camino viable es que nominalmente la fundición posea un nivel captura superior en al menos 0,5% por sobre la norma, para poder amortiguar las fallas puntuales de los equipos, dentro de la restricción de límites por chimenea.

Por otro lado, hay que tener claro que los niveles de eficiencia declarados por los proveedores de equipos, en el mejor de los caso se cumplen en pruebas de suficiencia y con los equipo nuevos recién instalados, pero con el correr del tiempo su eficiencia disminuye y su ineficiencia debe ser absorbida por la mayor eficiencia de captura (0,5%), indicada anteriormente.

Como se comprenderá, cuando la eficiencia de los equipos comienza a decaer, se acepta un determinado nivel de deterioro antes de programar una detención de fundición, por el impacto económico que ello significa.

No es viable detener los equipos para reparación, tan pronto ellos presenten deterioro (pérdidas de eficiencia) que pueden ser absorbidas por el mayor nivel de captura, porque esto atentaría contra la continuidad operativa de la fundición, situación de la más alta necesidad.



Por otro lado, algunas mantenciones requieren equipos especiales (camiones de transporte pesado, grúas de levante mayor, generadores portátiles, etc.), que no poseen las fundiciones (porque son de uso eventual) y que es necesario arrendar y por lo tanto hay que tomar el lugar que corresponda en la lista de espera, hasta que haya disponibilidad del equipo.

Lo anteriormente expuesto lleva al Consultor a no comprometer un nivel de abatimiento de S superior al 96,5% para la Fundición Chuquicamata

8.6.3 Comentarios sobre Infraestructura, Espacios Disponibles e Interferencias

La fundición Chuquicamata es un complejo industrial extremadamente compacto, donde es difícil encontrar espacios para nuevas instalaciones, afortunadamente la transformación tecnológica de la fundición básicamente consiste en un potenciamiento del FSF, para quedar como única unidad de fusión de concentrados y poder fundir 1.350 kt/año (concentrado y calcina).

Esto implica modificar y aumentar la capacidad de los sistemas de alimentación y pesaje de carga, cambiar ventiladores de aire de proceso (de 10 a 15kpa), aumentar la capacidad del quemador de carga (enriquecimiento de O₂ mayor a 70%) del FSF, adecuar la capacidad de circulación de agua de refrigeración y modificaciones en el sistema de sangrías de eje y escoria del horno.

El remplazo de las campanas primarias de los CPS, por otras de alta eficiencia no debería generar mayores interferencias, ya que este trabajo debe realizarse durante la mantención general de cada CPS. Respecto de los espacios necesarios, no se vislumbran inconvenientes dado que existe espacio suficiente, por lo que Chuquicamata estaría evaluando la adquisición de campanas integradas (primarias más secundarias)



La modificación y mejoramiento de las plantas de ácido a doble contacto/doble absorción, requiere de una fuerte intervención dentro del área de la PAS. Para estos básicamente se requiere cambiar reactores existentes de catálisis y torres de absorción, diseñados con nuevas interconexiones, entre ambos, aumentar la capacidad de enfriamiento de la PAS, modificando los intercambiadores de calor, verificando la capacidad del ventilador principal frente a los nuevos requerimientos de caídas de presión y en lo posible, aprovechar el calor generado en planta de ácido. La modificaciones puede ser complementadas por aumento de altura de los reactores de conversión, por lo que no se espera haya interferencias mayores.

Como ventaja Chuquicamata dispone de la tercera planta, para operar durante el periodo de modificaciones. Las interferencias se circunscriben a la instalación y conexión de estos equipos, que son fabricados externamente y llegan a la planta, previos a la mantención anual de la fundición, para su instalación y conexiones necesarias.

Para evitar las emisiones de gases de procesos, en la operación de agregado de carga fría por boca a los CPS, en la opción optimización fundición, ésta considerado el agregado mecánico lateral a la campana de los CPS de estos materiales, mediante una correa transportadora u otro dispositivo y de esta manera obtener tiempos de soplado superiores a 75%.

La captación de los gases fugitivos desde la boca de los CPS, mediante campanas secundarias es un proyecto sin interferencias mayores, ya que hasta hace poco tiempo, fundición de Chuquicamata operaba campanas secundarias, existiendo por lo tanto la altura y los espacios necesarios para equipos de estas características. Algunas interferencias menores podrían surgir con los tendidos de los ductos de gases fugitivos de campanas secundarias hacia la planta de lavado que debería ubicarse en un sector periférico.



Estos equipos deben encontrarse en planta, para que durante la mantención anual de ella, efectuar su instalación y conexión.

Las plantas de tratamiento de gases de cola, pueden requerir de espacios no disponibles en la actualidad, pero que si se dispondrá al término del desmantelamiento de la PAS N°1.

8.7 Costos de Inversión y Operación Escenarios Fijación Azufre y Arsénico

8.7.1 Inversiones por escenarios y gastos pre-inversionales

A continuación se indican los montos de inversión por proyectos de la fundición Chuquicamata adicionales al cambio de esquema operativo, como consecuencia de la implementación de cada uno de los proyectos de mejoramiento ambiental, tendientes a controlar el SO₂, As, Hg y MP, para el cumplimiento de los tres escenarios en estudio.

De acuerdo a los antecedentes disponibles, experiencia del Consultor y rango de precisión requerido para este estudio de costos de +/- 30%, las inversiones y recursos pre-inversionales (7% de la inversión) requeridos por escenario para la Fundición Chuquicamata, alcanzan:

- Escenario 95% fijación de S y límites de chimenea con 85,6 MUS\$
- Escenario 96%-97% fijación de S y límites en chimenea con 217,5 MUS\$

Tabla 8.7.1.a Costos de capital por escenario y proyectos Fundición Chuquicamata

COSTOS DE INVERSIÓN					
ITEM	DESCRIPCIÓN	Inversión Sub total	Costos PreInversionales	TOTAL	CRITERIO REEMPLAZO EQUIPOS
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS		KUS \$	KUS \$	KUS \$	
1	Escenario Captura 95% S				
1.1	Reemplazo campanas primarias CPS	43.000	3.010	46.010	15 años
1.2	Plantas de ácido doble absorción	30.000	2.100	32.100	18 años
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea				
1.1.1	Eliminación humos negros y opacimetro HA (Seis)	5.700	399	6.099	20 años
1.1.2	Infraestructura monitoreo control	1.290	90	1.381	20 años
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	6.990	489	7.480	
	Total Escenario Captura 95% S	79.990	5.599	85.590	
2	Escenario Captura 96%-97% S				
2.1	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	60.000	4.200	64.200	20 años
	Captura y Tratamiento gases sangrías FSF	31.000	2.170	33.170	20 años
2.1	Cumplimiento Límites en Chimenea				
2.1.1	Tratamiento gases de cola PAS 275.400 Nm3/h	32.250	2.257	34.507	20 años
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	39.240	2.747	41.987	
	Total Escenario Captura 96%-97% S	203.240	14.227	217.467	

Fuente: Elaboración propia.

La distribución de estas inversiones y su reposición por término de vida útil, en un plazo de 25 años, han permitido al Consultor calcular la inversión actualizada INVA por escenario, utilizando una tasa de descuento de 6% anual, considerando como año cero el 2011.

La tabla 8.7.1.b muestra la distribución de las inversiones y costos pre-inversionales.

Tabla 8.7.1.b Distribución costos de capital por escenario y proyectos Fundición Chuquicamata

COSTOS DE INVERSIÓN		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
ITEM	DESCRIPCIÓN	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS								
1	Escenario Captura 95% S							
1.1	Reemplazo campanas primarias CPS	0	3.010	43.000	0	0	0	0
1.2	Plantas de ácido doble absorción	0	2.100	10.000	20.000	0	0	0
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea							
1.1.1	Eliminación humos negros y opacímetro HA (Seis)	0	0	399	5.700	0	0	0
1.1.2	Infraestructura monitoreo control	0	0	90	1.290	0	0	0
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	0	0	489	6.990	0	0	0
	Total Escenario Captura 95% S	0	5.110	53.489	26.990	0	0	0
2	Escenario Captura 96%-97% S							
2.1	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	0	2.100	2.100	30.000	30.000	0	0
	Captura y Tratamiento gases sangrías FSF	0	1.085	1.085	15.500	15.500	0	0
2.1	Cumplimiento Límites en Chimenea							
2.1.1	Tratamiento gases de cola PAS 275.400 Nm ³ /h	0	0	0	2.257	32.250	0	0
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	0	0	489	9.248	32.250	0	0
	Total Escenario Captura 96%-97% S	0	8.295	56.674	74.748	77.750	0	0

Fuente: Elaboración propia.

8.7.2 Costos incrementales de operación

Los costos anuales incrementales de operación, determinados en 5,9 MUS\$/año para el escenario 95% y 22,2 MUS\$/año para el escenario de 96%-97%, incorporan el caso de producción incremental de ácido como un crédito al costo, la venta del ácido adicional generado a un ingreso marginal neto de 60 US\$/t, o la entrega en planta para despacho directo a las instalaciones mineras circundantes.

Para la disposición de residuos sólidos, en el caso específico de la Fundición Chuquicamata, se ha valorizado la disposición de estos materiales en el depósito Montecristo de la División Codelco Norte, a una tarifa de 150 US\$/t.



Tabla 8.7.2 Costos incrementales de operación por escenario Fundición Chuquicamata

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTOS DE OPERACIÓN INCREMENTALES					Tonelada Abatida (Ton/a)
		COSTO TOTAL INCREMENTAL ANUAL DE OPERACIÓN KUS \$/a	Costo Energía KUS \$/a	Costo Insumos y otros KUS \$/a	Costo Mantenimiento KUS \$/a	Costo disposición KUS \$/a	
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS							
1	Escenario Captura 95% S	1.239	1.908	-1.531	862	0	16.347
1.1	Reemplazo campanas primarias CPS	2	-	2	0	-	5.556
1.2	Plantas de ácido doble absorción	2.770	1.908	0	862	-	10.791
-	Producción de ácido sulfúrico	-1.533	-	-1.533	-	-	-
1.1	Cumplimiento Límites en Chimenea						
1.1.1	Eliminación humos negros y opacímetro HA (Seis)	3.107	-	3.107	0	-	-
1.1.2	Infraestructura monitoreo control	560	-	560	0	-	-
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	3.667	0	3.667	0	0	0
	Total Escenario Captura 95% S	4.907	1.908	2.137	862	0	16.347
2	Escenario Captura 96%-97% S						
2.1	Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	7.066	1.055	1.063	1.063	3.885	9.576
	Captura y Tratamiento gases sangrias FSF	3.590	989	997	997	608	1.500
2.1	Cumplimiento Límites en Chimenea						
2.1.1	Tratamiento gases de cola PAS 275.400 Nm ³ /h	5.660	1.210	1.220	1.220	2.010	4.948
	Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	9.328	1.210	4.888	1.220	2.010	4.948
	Total Escenario Captura 96%-97% S	21.223	5.161	5.417	4.142	6.503	32.371

Fuente: Elaboración propia.

8.7.3 Energía Eléctrica Incremental y agua adicional requerida

Aunque junto al mejoramiento medioambiental, los proyectos deben incorporar mejoras de eficiencia energética, la instalación de nuevos equipos generará nuevos requerimientos de energía y agua industrial, recursos que por los sistemas de manejo y limpieza de gases, representan una fracción importante de consumo y costos de las Fundiciones, con índices medios referenciales del orden de 0,3 MWH/t de concentrado fundido, y de agua entre 2,3 m³/t de concentrado fundido. Para el caso de la Fundición Chuquicamata, la nueva configuración operacional tendrá un menor consumo energético que el actual, básicamente al detener una planta de ácido sulfúrico, proceso de alta demanda eléctrica.

Sin embargo los nuevos sistemas incorporados para el control de emisiones por sobre la base 2013, implicarán un aumento del consumo energético del orden de



22,6 GWH/a para el escenario de 95% y de 61 GWH/a para el escenario 96%-97%. De igual modo habrá un incremento del consumo de agua industrial de reposición, según se indica en tabla siguiente:

Tabla 8.7.3 Consumo incremental de energía y agua industrial

Medidas de mejoramiento ambiental	Puesta en operación	Consumo incremental Energía MWh/a	Consumo incremental de agua m3/a
Fundición Chuquicamata	Año		
Escenario 95% S			
Reemplazo campanas CPS	2014	-	12.110
Plantas de ácido doble absorción	2015	22.578	4.691
<i>Límites de chimenea</i>			
Eliminación humos negros y opacímetro HA (Seis)	2015	4.471	-
Infraestructura monitoreo control	2015	-	-
Consumo MWh/a		22.578	
Escenario 96%-97% S			
Captación y tratamiento gases campana secundaria CPS	2016	12.480	3.600
Captura y Tratamiento gases sangrías FSF	2016	11.700	3.375
<i>Límites de chimenea</i>			
Tratamiento gases de cola PAS 274.000 Nm3/h	2016	14.321	3.375
Consumo MWh/a		61.079	

Nota: El valor en color azul corresponde al consumo incremental de petróleo en t/a, para eliminación de humos negros.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8.7.3.a Incremento Energía Eléctrica

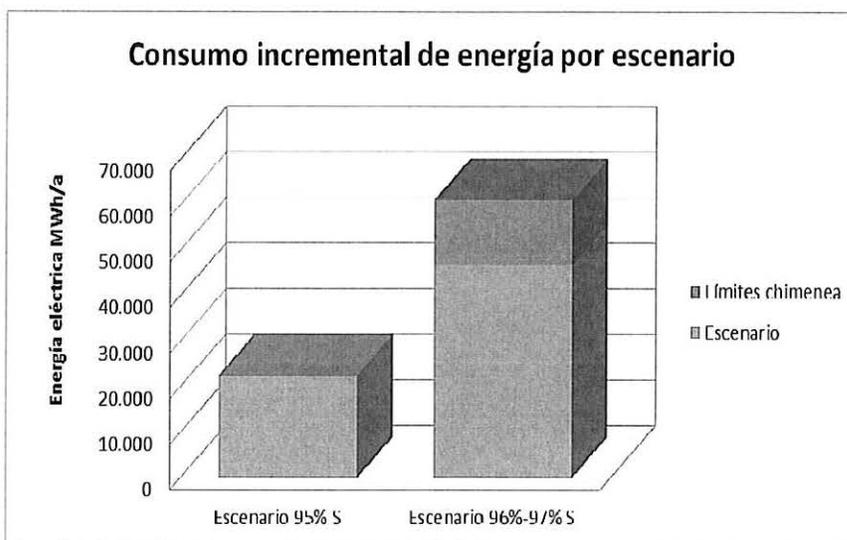
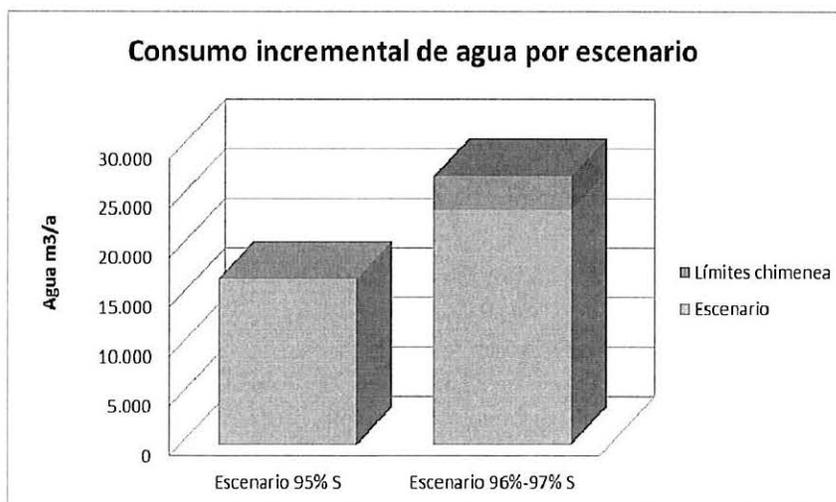


Gráfico 8.7.3.b Incremento Consumo Agua industrial



Fuente Gráficos 8.7.3 a y b: Elaboración propia.



8.8 Resultados Técnico/Económico de Cumplimiento de Escenarios Regulatorios

En cumplimiento a los objetivos de este estudio, se han indicado las soluciones medio ambientales posibles de incorporar en la Fundición Chuquicamata, para que dicha instalación pueda enfrentar nuevos escenarios regulatorios en el mediano plazo, que le permitirían reducir emisiones de Azufre y Arsénico, con niveles de captura y fijación de 95% y 96%-97% en azufre, y superiores en arsénico.

Lo anterior, junto a las estimaciones de costos de inversión y operación incrementales permiten evaluar el valor presente (VAC) de dichas medidas y la determinación del Costo anual equivalente (CAE) como una medida comparativa a la razón costo-efectividad, determinando el costo unitario por tonelada de SO₂ abatida (CUE), que como referente de otras instalaciones y específicamente para 6 fundiciones de Canadá en un estudio normativo al año 2004²⁵, el CUE alcanza niveles entre 1.900 a 2.000 US\$ canadienses por tonelada de SO₂ abatida, costo que crece exponencialmente para mayores niveles de abatimiento.

8.8.1 Reducción de Emisiones de SO₂ y As por escenarios

La reducción proyectada de emisiones de SO₂ y As, por fuentes para la Fundición Chuquicamata se muestra en los gráficos 8.8.1 a y b. Incluye una sección otros en color rojo, la cual contiene emisiones provenientes de otras fuentes y ajustes para llegar al valor medio entre lo declarado y modelado por el consultor.

²⁵ Technical Assessment of Environmental Performance Emission Reduction Options for the base metals Smelter, p. internet www.ec.gc.ca, Canada, 2004.



Gráfico 8.8.1.a Emisiones Chuquicamata de SO₂ por escenario

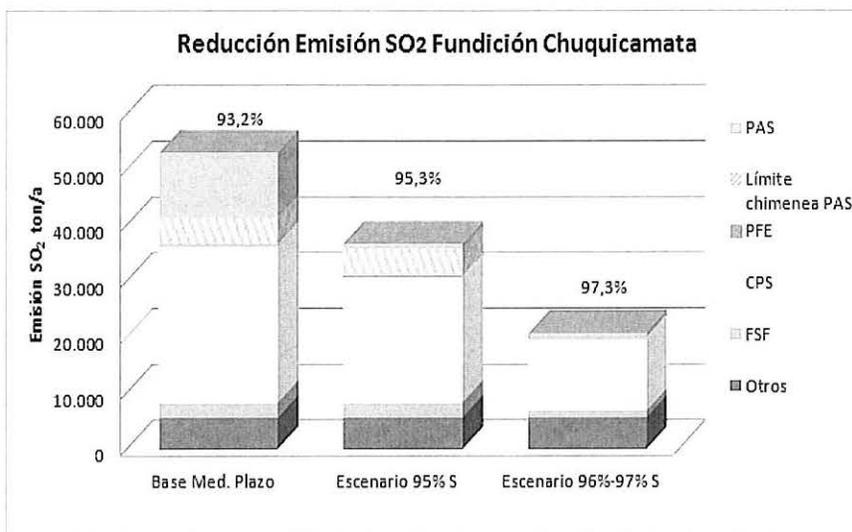
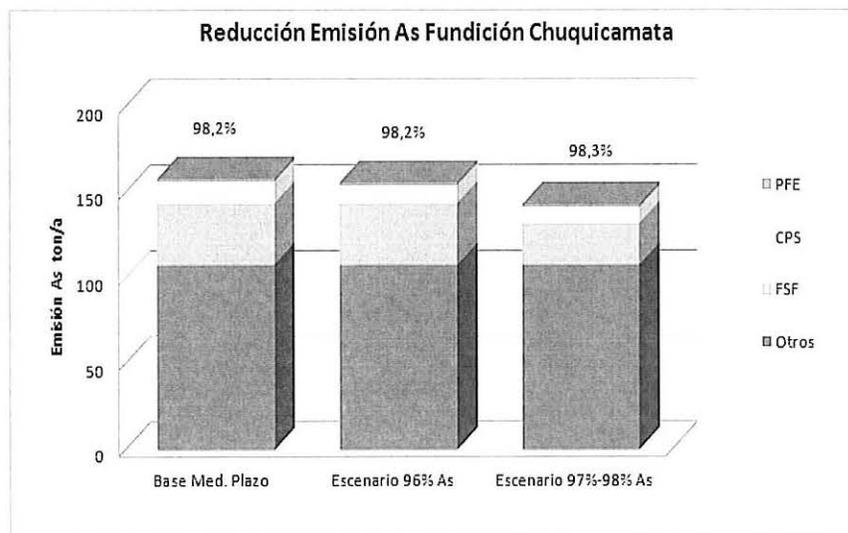


Gráfico 8.8.1.b Emisiones Chuquicamata de Arsénico por escenario



Fuente Gráficos 8.8.1 a y b: Elaboración propia.



8.8.2 Cumplimiento de cuotas con emisiones proyectadas Azufre y Arsénico

Las figuras siguientes muestran que de acuerdo a la planificación planteada, a partir del año 2016 es factible el cumplimiento de cuotas de emisión de SO₂ y As proyectadas por la autoridad para la Fundición Chuquicamata, considerando el nuevo esquema operativo de la Fundición.

Gráfico 8.8.2.a Cuotas de Emisiones SO₂ Chuquicamata por escenario

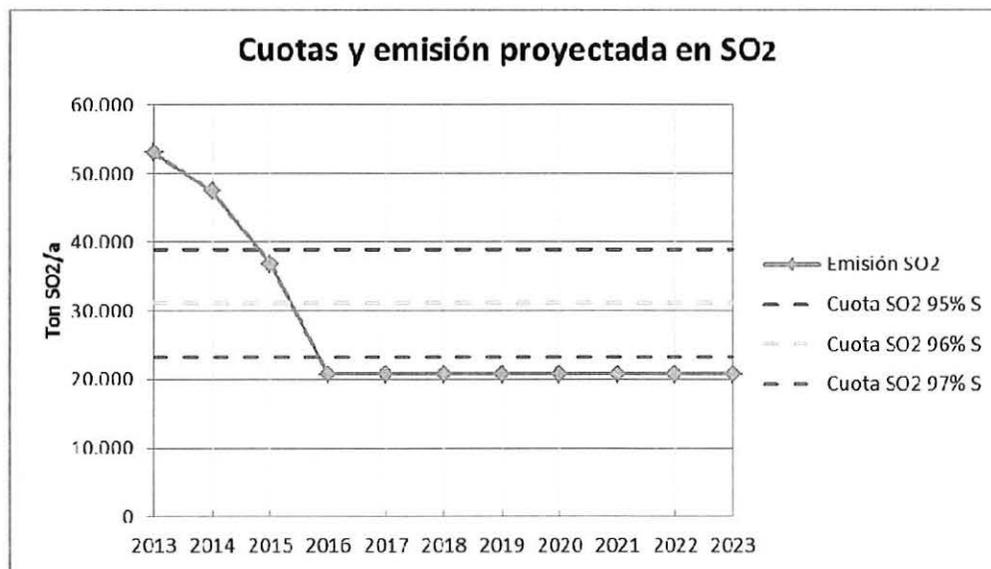
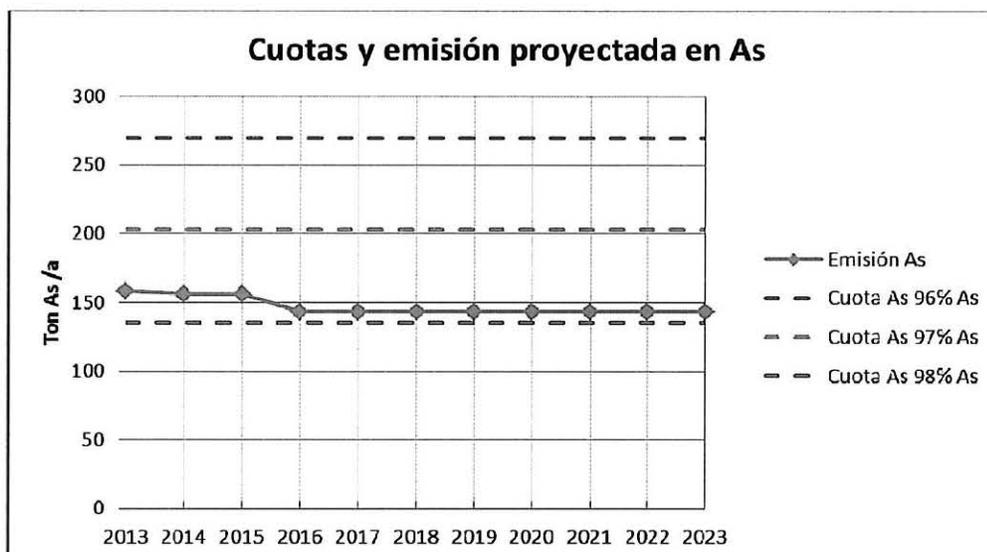


Gráfico 8.8.2.b Cuotas de Emisiones As Chuquicamata por escenario



Fuente Gráficos 8.8.2 a y b: Elaboración propia.

Del gráfico anterior es posible inferir que por los niveles de procesamiento de la Fundición Chuquicamata, ésta superaría los niveles de Arsénico proyectados, en base al criterio común a establecer por la autoridad, como se indica a continuación:

Tabla 8.8.2 Cuotas máximas de emisión a evaluar Chuquicamata caso optimizado.

Cuotas máximas de emisión a evaluar						
Instalación	SO ₂ (t/a) 95%	As (t/a) 96%	SO ₂ (t/a) 96%	As (t/a) 97%	SO ₂ (t/a) 97%	As (t/a) 98%
Chuquicamata	38.861	270	31.089	203	23.316	135

Fuente: Elaborado según lo establecido por el MMA.



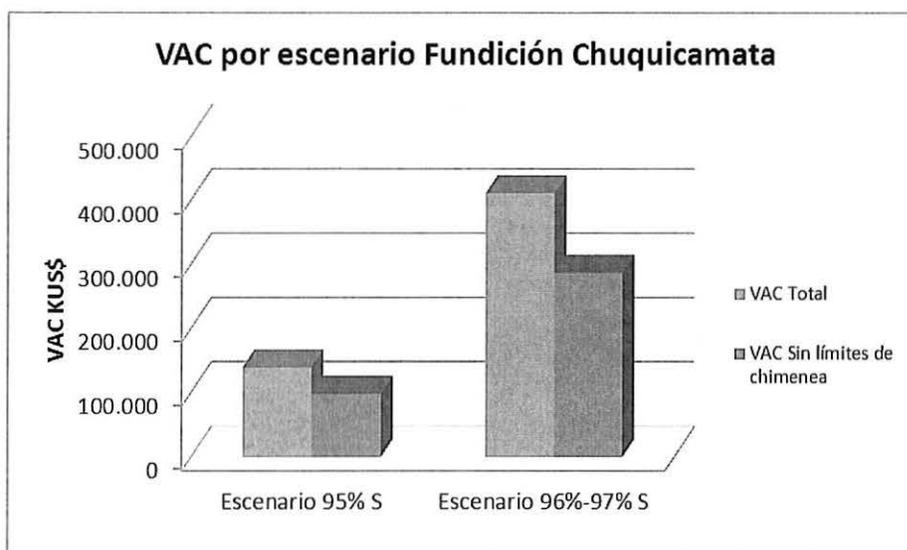
8.8.3 Determinación de VAC y CAE

La determinación en un período de 25 años del valor actualizado de costos (VAC) para la Fundición Chuquicamata, considerando una tasa social de descuento de 6%, indica que para lograr el cumplimiento de escenarios solicitados a evaluar por la autoridad, representarán los siguientes VAC, valorizados como escenarios acumulativos:

- Escenario de 95% Fijación S, VAC total de 140,5 MUS\$, de los cuales 41,8 MUS\$ corresponden a soluciones para control de límites en chimenea.
- Escenario de 96%-97% Fijación S, VAC de 411,1 MUS\$ de los cuales 123,7 MUS\$ corresponden a soluciones para el control de límites en chimenea.

Se destaca también que las cifras entregadas no incluyen, las inversiones necesarias para el cambio de esquema tecnológico de potenciamiento de horno flash, y planta de flotación de escorias, como tampoco incluyen la pérdida de capacidad de fusión a nivel nacional.

Gráfico 8.8.3.a Valor Actualizado de Costos soluciones medioambientales
Chuquicamata por escenario

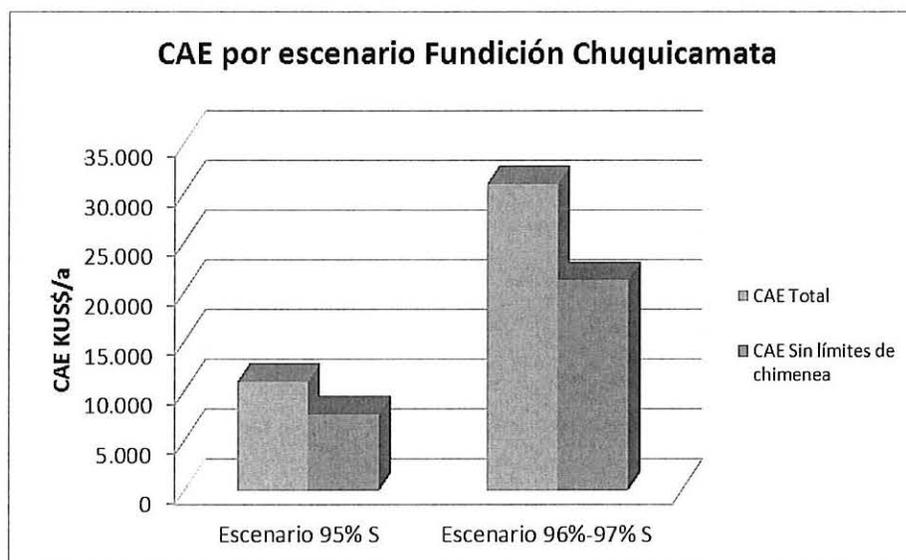


Fuente: Elaboración propia.

De igual modo la determinación del costo anual equivalente o valor en cuotas fijas anuales (CAE) para la Fundición Chuquicamata, considerando una tasa social de descuento de 6% en un período de operación dentro de los 25 años, indica que para lograr el cumplimiento de escenarios solicitados a evaluar por la autoridad, representarán los siguientes CAE:

- Escenario de 95% Fijación S, CAE de 10.988 kUS\$/a
- Escenario de 96%-97% Fijación S, CAE de 30.891 kUS\$/a

Gráfico 8.8.3.b Costo anual equivalente Soluciones medioambientales
Chuquicamata por escenario



Fuente: Elaboración propia.

8.8.4 Relación Costo /Efectividad para el control de Emisiones de SO₂.

Con los antecedentes entregados, para el cumplimiento de los escenarios de abatimiento de azufre proyectados, se requieren los siguientes recursos expresados como indicadores económicos y que llevan a los siguientes costos unitarios equivalentes por tonelada de SO₂ abatida promedio en el periodo:

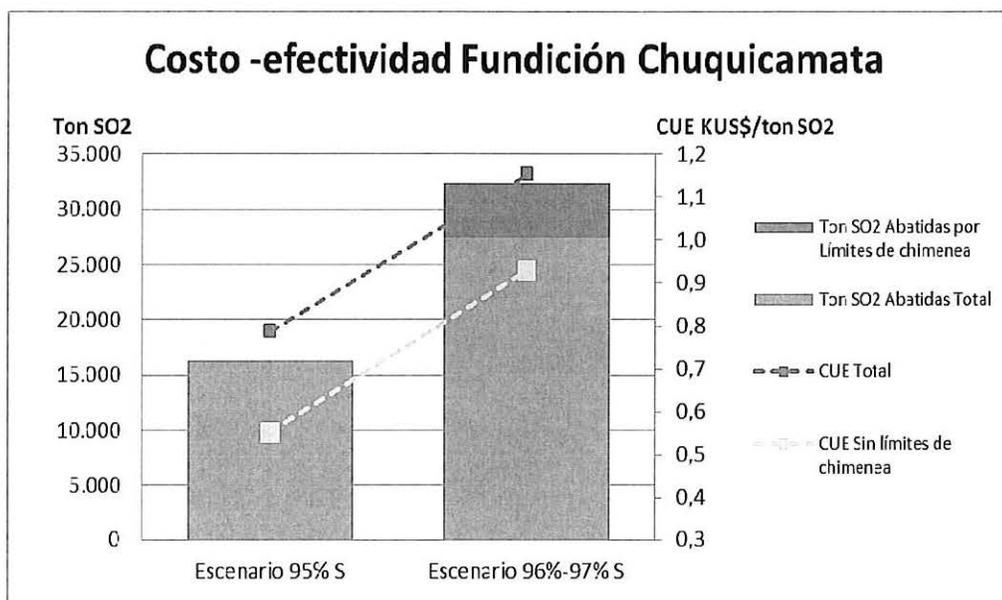
- **Escenario de 95% Fijación S, CUE de 0,8 kUS\$/ t SO₂**
- **Escenario de 96%-97% Fijación S, CUE de 1,2 kUS\$/t SO₂**

Tabla 8.8.4 Indicadores económicos por escenarios Fundición Chuquicamata

DESCRIPCIÓN	INDICADORES ECONÓMICOS A TASA 6%			
	INVA	VAC	CAE	CUE
COSTOS ASOCIADOS A PROYECTOS	KUS \$	KUS \$	KUS \$/a	KUS \$/Ton
Escenario Captura 95% S	88.280	98.615	7.714	0,6
Reemplazo campanas primarias CPS	53.847	53.866	4.214	
Plantas de ácido doble absorción	34.432	60.244	4.713	
Producción de ácido sulfúrico	-	-15.495	-1.212	
Cumplimiento Límites en Chimenea				
Eliminación humos negros y opacímetro HA (Seis)	6.258	35.214	2.755	
Infraestructura monitoreo control	1.417	6.635	519	
Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	7.674	41.849	3.274	-
Total Escenario Captura 95% S	95.954	140.464	10.988	0,8
Escenario Captura 96%-97% S				
Captación y Tratamiento Gases Campana Secundaria CPS	64.212	124.776	9.761	
Captura y Tratamiento gases sangrías FSF	33.176	63.945	3.734	
Cumplimiento Límites en Chimenea				
Tratamiento gases de cola PAS 275.400 Nm3/h	33.401	81.916	6.408	
Total Cumplimiento Límites en Chimeneas	41.076	123.765	9.682	2,4
Total Escenario Captura 96%-97% S	226.743	411.101	30.891	1,2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8.8.4 Costo Unitario Equivalente por tonelada de SO₂ abatida
Chuquicamata



Fuente: Elaboración propia.

El escenario 95% S, considera solo algunos proyectos para el cumplimiento de límites en chimeneas, sin abatimiento significativo de SO₂, incorporando soluciones para el control de humos negros en los hornos de ánodos, e infraestructura para monitoreo y control de emisiones por chimeneas, (estimación el 1% de la inversión relativa a medidas de control de límites y de nuevas plantas de abatimiento con descarga final de gases por chimeneas).

8.8.5 Proyección de futuro para la Fundición Chuquicamata

La fundición Chuquicamata históricamente ha procesado un alto volumen de concentrados y con los mayores contenidos de As de Codelco, pero a través del cambio de línea de producción que generará con la detención del CT, el



potenciamiento del Horno Flash y fundamentalmente con la flotación de escorias, quedará con un mejor equipamiento para enfrentar las nuevas exigencias ambientales.

De hecho con la incorporación de los concentrados de la Mina Ministro Hales, la adecuación de la Fundición tiene como proyecto complementario una nueva área de tostación de concentrados y su línea de tratamiento de gases, que le permitirá des-arsenizar previamente los concentrados más impuros (MMH) y alimentar a la fundición calcinas, junto a los concentrados más limpios, generando algo de flexibilidad para la fusión de concentrados de cobre más impuros.

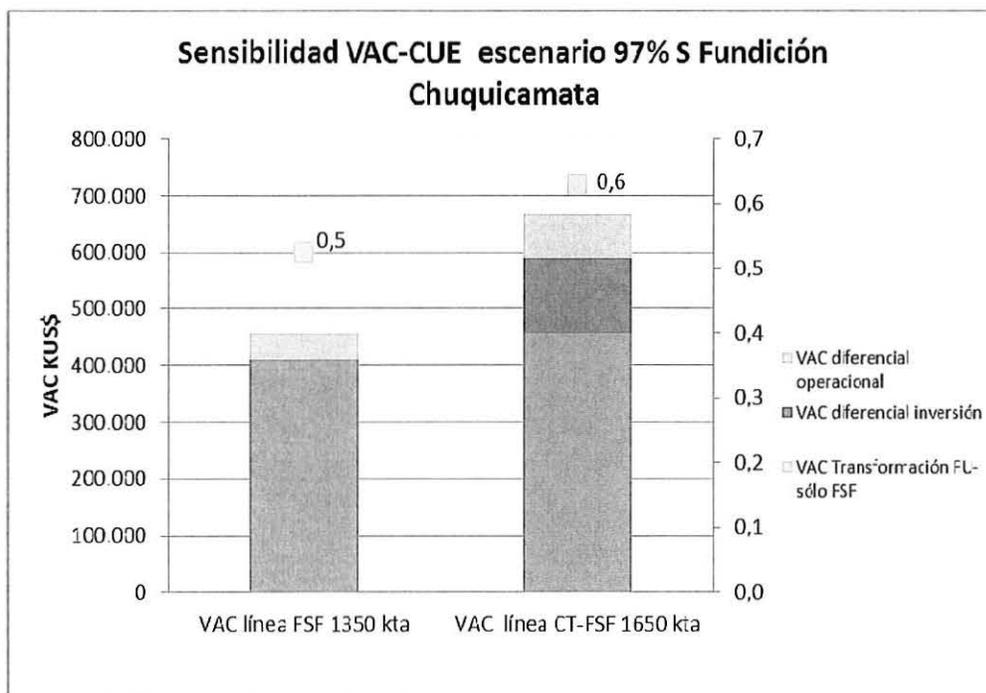
Esta situación sin embargo quedará acotada al cumplimiento de límites de cuotas de emisión de SO_2 y As, meta difícil de lograr para el arsénico, aún con las soluciones a incorporar, requiriendo frente a concentrados sobre 0,5 % de As posiblemente una segunda unidad de tostación previa, para flexibilizar el tratamiento de concentrados normales, evaluados como el 70% de la carga.

8.8.6 Sensibilidad de situación Fundición Chuquicamata en relación situación actual

Para valorizar en su integridad la situación de la Fundición Chuquicamata, frente a las soluciones de control ambiental, desde su situación actual base, se han incluido adicionalmente las inversiones asociadas al proyecto de transformación a una sola línea de fusión, incluyendo los costos de desvinculación de personal, los que se comparan con los proyectos de reducción, que le permitirían lograr comparativamente el 96%-97% de abatimiento de SO_2 , manteniendo su actual capacidad de fusión de concentrados de 1.650 kta., situación que requiere 135 MUS\$ adicionales de inversión según lo indicado por Codelco y estimativamente 77 MUS\$ adicionales de VAC operacional determinados por el Consultor.

Bajo tal condición el valor actualizado de costos total con el caso Optimización analizado alcanzaría a 450 MUS\$, frente al necesario para mantener el esquema operación con 2 líneas de fusión equivalente a 662 MUS\$, análisis que no valoriza la pérdida de capacidad de fusión, analizable en función de la disponibilidad de concentrados.

Gráfico 8.8.6 Costo para alcanzar escenario 96-97% S Fundición Chuquicamata



Fuente: Elaboración propia.